

UNIVERSITÉ DE GENÈVE
Centre de Cardiologie de l'Hôpital Cantonal
Instituts de Physiologie de Genève et Zurich

FACULTÉ DE MÉDECINE
Professeur *Pierre W. Duchosal*
Professeur *Oscar Wyss*

**La composition des potentiels électriques
recueillis en dérivation unipolaire
à la surface du cœur**

THÈSE

présentée à la Faculté de Médecine
de l'Université de Genève
pour obtenir le grade de Docteur en Médecine

par

Robert VEYRAT
de Genève (Suisse)

Thèse N° 2239

B Â L E

Benno Schwabe & Co · Editeurs

1954

UNIVERSITÉ DE GENÈVE
Centre de Cardiologie de l'Hôpital Cantonal
Instituts de Physiologie de Genève et Zurich

FACULTÉ DE MÉDECINE
Professeur *Pierre W. Duchosal*
Professeur *Oscar Wyss*

**La composition des potentiels électriques
recueillis en dérivation unipolaire
à la surface du cœur**

THÈSE

présentée à la Faculté de Médecine
de l'Université de Genève
pour obtenir le grade de Docteur en Médecine

par

Robert VEYRAT
de Genève (Suisse)

Thèse N° 2239

B Â L E

Benno Schwabe & Co · Editeurs

1954

La Faculté de Médecine, sur le préavis de Monsieur le professeur *P. W. Duchosal*, autorise l'impression de la présente thèse, sans prétendre par là émettre d'opinion sur les propositions qui y sont énoncées.

Genève, le 30 janvier 1954.

Le doyen:

Fernand Chatillon

Thèse No 2239.



A MES PARENTS



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546406_0083

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à Monsieur le Professeur *Oscar Wyss*, qui nous a constamment dirigés et conseillés dans nos recherches.

Nous remercions aussi vivement Monsieur le Professeur *Pierre W. Duchosal* pour l'aide qu'il nous a apportée au cours de ce travail et pour l'honneur qu'il nous a fait en acceptant de présider cette thèse.

Nos remerciements vont enfin à Mademoiselle *Ines Hartmann* et à Monsieur *Marcel Rüphi* pour leur précieuse collaboration.

SOMMAIRE

Introduction	9
Technique	12
Résultats	17
1. La déflexion intrinsèque	17
2. Les oreillettes	19
A. L'électrogramme du nœud sinusal	20
B. La composition de l'électrogramme auriculaire	21
C. L'ordre d'excitation à la surface des oreillettes	22
3. Les ventricules	23
A. La composition de l'électrogramme ventriculaire	23
B. L'ordre d'excitation à la surface des ventricules	30
Discussion	32
Résumé	36
Bibliographie	37

Introduction¹

Déflexions intrinsèque et extrinsèque

En 1910, l'unanimité n'était pas encore faite sur le point d'origine de l'excitation cardiaque. Le nœud sinusal de *Keith* et *Flack* (1907) et le nœud atrio-ventriculaire de *Tawara* (1905/06) gardaient chacun leurs partisans, les méthodes expérimentales classiques – refroidissement, réchauffement, destruction ou excision de l'un des nœuds – n'ayant pas permis de résoudre ce problème.

C'est alors que presque simultanément, *Wybauw* (1910) d'une part, *Lewis*, *Oppenheimer* et *Oppenheimer* (1910) de l'autre appliquèrent au cœur de mammifère la méthode électrophysiologique, qui avait été utilisée pour étudier le cheminement de l'excitation dans la fibre nerveuse et dans le muscle squelettique. On savait, en effet, depuis les travaux de *Du Bois-Reymond* (1848), que si l'on place deux électrodes sur un muscle ou sur un nerf, chacune d'elles devient successivement électronégative par rapport à l'autre, au passage de l'excitation. *Wybauw* et *Lewis* posèrent une électrode sur le nœud sinusal (électrode proximale) et l'autre en un point quelconque des oreillettes (électrode distale). L'électrogramme recueilli dans ces conditions débute subitement par une déflexion rapide, de grande amplitude, toujours dirigée dans le même sens et qui correspond à une polarité négative de l'électrode proximale. Cette déflexion négative constituant le premier accident de l'électrogramme auriculaire, la preuve était donnée que l'excitation cardiaque apparaît le plus précocement au niveau du nœud sinusal, dont le rôle de «*pace-maker*» était ainsi définitivement établi. Les travaux d'*Egster* et de *Meek* (1913) confirmèrent en tous points les observations de *Wybauw* et de *Lewis*.

Si l'on place maintenant l'électrode proximale sur la paroi de l'oreillette, à quelques millimètres du nœud sinusal, l'électrogramme auriculaire se compose d'une courbe polyphasique, où l'on reconnaît au premier coup d'œil une déflexion rapide et de grande amplitude, dont la direction, comme précédemment, indique une polarité négative de l'électrode la plus proche du nœud sinusal. *Lewis*, *Meakins* et *White* (1914) admirent que cette déflexion attestait l'arrivée de l'excitation dans le myocarde sous-jacent à l'électrode proximale et la considérèrent comme le premier accident de l'électrogramme de cette petite portion d'oreillette; ils lui donnèrent le nom de *première déflexion intrinsèque*, puis plus brièvement de *déflexion intrinsèque*. Quand

¹ Ces recherches ont été subventionnées par la Fondation F. Hoffmann-La Roche, à Bâle, à laquelle l'auteur exprime sa vive reconnaissance.

l'électrode proximale est placée à quelque distance de nœud sinusal, cette déflexion intrinsèque est précédée d'un autre accident, de plus faible amplitude et de direction inverse, que *Lewis* et ses collaborateurs nommèrent *première déflexion extrinsèque*, puis simplement *déflexion extrinsèque*. Elle représente, selon ces auteurs, l'électrogramme des territoires auriculaires activés avant celui qui est au contact de l'électrode proximale, qui ne recueille qu'indirectement cette déflexion extrinsèque.

En comparant le moment d'apparition de la déflexion intrinsèque en divers points de la surface des oreillettes du chien, *Lewis*, *Meakins* et *White* purent démontrer que l'excitation se propage radiairement à partir du nœud sinusal, comme se répand une goutte d'huile à la surface d'une lame de verre. Plus un point est éloigné du nœud sinusal, plus l'excitation l'atteint tardivement : les auricules, situées à la périphérie des oreillettes, sont pour cette raison activées en dernier.

En collaboration avec *Rothschild*, *Lewis* (1915) se proposa ensuite de déterminer, avec la même méthode, l'ordre d'excitation à la surface des ventricules. Les courbes qu'il recueillit ainsi, en dérivation bipolaire, étaient souvent si complexes que l'identification de la déflexion intrinsèque devenait hasardeuse, sinon impossible. Il eut alors l'idée de recourir à la méthode unipolaire, en ne conservant qu'une seule électrode épicaudique, l'électrode indifférente étant fixée à la paroi du thorax. Quel que soit le point de la surface ventriculaire qu'explore l'électrode, *Lewis* retrouva toujours sur le tracé la déflexion intrinsèque, qu'il reconnaissait, comme sur les oreillettes, à sa rapidité, à sa grande amplitude et à sa direction. Il fixa le début de cette déflexion à l'instant précis où la positivité relative de l'électrode épicaudique commence subitement à diminuer, soit au sommet R du complexe ventriculaire.

La détermination, par rapport à un électrocardiogramme témoin enregistré simultanément, du moment d'apparition de ce sommet R pour de nombreux points de l'épicaudie lui permit d'établir la première carte de l'ordre d'excitation à la surface des ventricules du chien.

Lewis signale qu'exceptionnellement il enregistra des courbes plus complexes et d'interprétation difficile. Il pense que dans ces cas la déflexion extrinsèque se prolonge plus qu'habituellement et qu'elle se superpose en partie à la déflexion intrinsèque qui, pour cette raison, deviendrait moins apparente. Il évita de lire de telles courbes en choisissant d'autres points sur l'épicaudie ou simplement en déplaçant l'électrode indifférente.

En introduisant en électrocardiographie cette distinction fondamentale entre les déflexions intrinsèque et extrinsèque, *Lewis* ne cherchait qu'à définir un repère chronologique lui permettant de reconnaître le moment d'activation d'un point donné de la surface du cœur. Le but de son travail était de préciser le point d'origine de l'excitation, puis de déterminer sa propagation dans les oreillettes et dans les ventricules ; il se contenta, pour cette raison, d'une définition sommaire de la déflexion intrinsèque.

Depuis quelques années, l'usage de plus en plus fréquent, en électrocardiographie clinique, des dérivations unipolaires thoraciques a rendu à ce problème toute son actualité. Sur la base des travaux de *Wilson* (1930, 1931, 1934, 1944), la plupart des cardiologues se croient autorisés à comparer le tracé thoracique à l'électrogramme direct du point correspondant de la surface ventriculaire. Ils parlent ainsi de déflexion intrinsèque, semi-intrinsèque ou « intrinsécoïde » (*Macleod, Wilson et Barker*, 1929), d'onde intrinsèque et d'effet intrinsèque, mais toujours en s'en tenant à la définition et aux critères de *Lewis* et en fixant le début de cette déflexion au sommet R du complexe ventriculaire. Ainsi, le comité de la Société Américaine de Cardiologie pour la standardisation des dérivations précordiales déclare, notamment, dans ses recommandations (*Amer. Heart J.* 15, 235-239 [1938]): « lorsque les électrodes sont connectées à l'électrocardiographe de manière à ce qu'une déflexion du tracé dirigée vers le bas corresponde à une négativation de l'électrode précordiale, le sommet R marque le début de la déflexion intrinsèque, qui atteste l'arrivée de l'excitation à la surface épicaudique de la partie du cœur sous-jacente à l'électrode précordiale ».

En résumé, il est généralement admis qu'une électrode placée à la surface du cœur recueille en dérivation unipolaire directe d'une part un phénomène électrique localisé ou focal, d'autre part un phénomène global (*Duchosal, Veyrat et Wyss* 1952).

La composante focale (déflexion intrinsèque de *Lewis*) représente l'électrogramme de la petite portion de myocarde au contact direct de l'électrode. Les dimensions du territoire ainsi exploré sont inconnues, mais probablement fort réduites; en revanche, le contact direct du tissu actif avec l'électrode permet d'enregistrer son courant d'action dans des conditions excellentes.

La composante globale (déflexion extrinsèque de *Lewis*) est formée de la somme des électrogrammes élémentaires de toutes les autres parties du cœur, qui sont activées plus tôt, en même temps ou plus tard que le point exploré, mais qui ne sont pas en contact direct avec l'électrode exploratrice. L'ensemble de ces territoires représente une masse importante de myocarde – presque tout le cœur – mais leurs potentiels d'action ne parviennent qu'indirectement à l'électrode. Ils sont transmis par le tissu cardiaque et le milieu avoisinant qui, agissant comme des shunts, les réduisent fortement, jusqu'à les rendre moins importants que la composante focale.

Comme la distinction de ces deux composantes repose, aujourd'hui encore, essentiellement sur les travaux de *Lewis* et sur la définition qu'il donna, en 1914, de la déflexion intrinsèque, nous nous sommes proposé de réétudier ce problème, en nous demandant :

s'il est toujours possible de retrouver, dans l'électrogramme d'un point quelconque de la surface cardiaque, la déflexion intrinsèque;

si celle-ci présente toujours l'aspect caractéristique décrit par *Lewis*;
si son début coïncide toujours avec une brusque inversion de polarité à l'électrode exploratrice;

enfin s'il est possible de mieux dissocier ces deux composantes.

Nous avons dérivé les électrogrammes du cœur isolé et perfusé. Cette méthode offre, en effet, des conditions expérimentales plus constantes que celles réalisées in situ et permet l'exploration de toutes les faces du cœur.

Technique

1. Système de perfusion

Selon la méthode classique de *Langendorff* (1895), le liquide de perfusion est introduit dans l'aorte par une canule de verre, en sens inverse du débit sanguin. Par sa pression de 40 mm Hg, il referme les valvules sigmoïdes et s'engage dans les deux artères coronaires, pour se déverser finalement, par le sinus coronaire, dans l'oreillette droite. Afin d'éviter l'écoulement de la solution physiologique à la surface du cœur — ce qui aurait perturbé l'enregistrement électrique — le cœur a été orienté la pointe dirigée vers le haut et l'aorte vers le bas.

L'appareil de perfusion (fig. 1) est construit de manière à pouvoir réaliser des perfusions de plusieurs heures, dans des conditions de température et d'humidité constantes, quels que soient la taille et le débit coronaire du cœur. Il se compose d'un thermostat de grand volume, contenant 35 litres d'eau dans laquelle est immergé un serpentin de verre de 50 mm² de section et de 13 m de longueur. Un thermomètre à contact contrôle, par l'intermédiaire d'un relais électromagnétique, le fonctionnement des

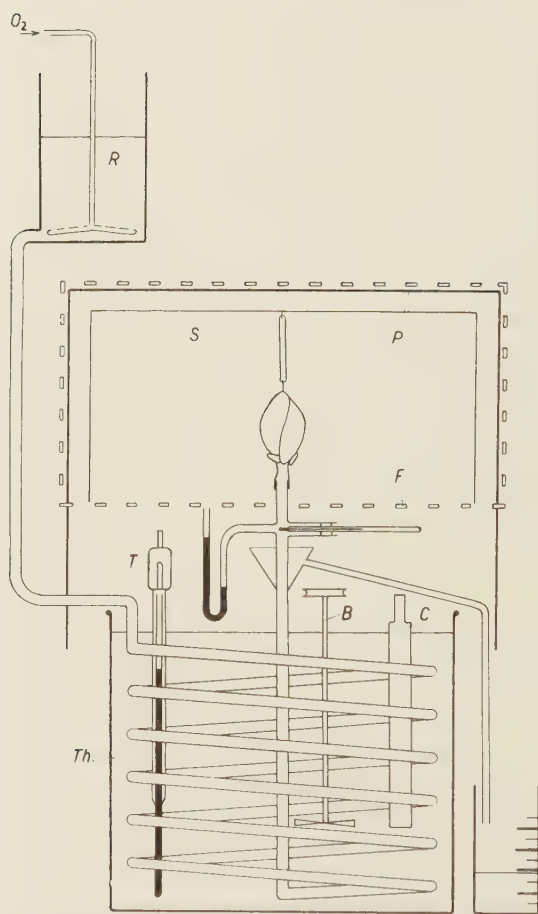


Fig. 1. Schéma de l'appareil de perfusion. R = réservoir de la solution physiologique, avec dégagement continu d'oxygène; Th = thermostat; C = corps de chauffe; T = thermomètre à contact; B = brasseur; S = support auquel est fixée la pointe du cœur; P = paroi de cellulose; F = cage de Faraday.

corps de chauffe et un brasseur assure une température uniforme à tout le bain. La déperdition de chaleur est ainsi compensée par l'apport et les écarts extrêmes de température demeurent inférieurs à $0,1^{\circ}\text{C}$.

Le réservoir de la solution physiologique est placé sur un trépied de hauteur variable, permettant d'ajuster la pression de perfusion. De ce flacon, le liquide passe dans un tuyau de matière plastique, parcourt les spires du serpentín et s'engage finalement dans le tube central d'alimentation qui le conduit, vers le haut, à la canule, puis dans l'aorte. Près de son extrémité supérieure, ce tube donne naissance à deux branches horizontales; l'une est reliée à un manomètre à mercure, l'autre contient un thermomètre (fig. 2). On peut ainsi contrôler, en tout temps, la pression et la température de la solution, immédiatement avant son entrée dans la circulation coronaire.

Le liquide de perfusion, qui sort de l'oreillette droite, s'écoule le long de la canule et s'accumule dans un entonnoir de verre, scellé autour du tube central d'alimentation, qui se vide par une dérivation latérale. La mesure du volume de liquide recueilli dans l'unité de temps donne le débit coronaire.

Le cœur n'est pas laissé à l'air libre; une vaste cage de treillis métallique l'entoure de toutes parts. Le plancher de cette cage, traversé en son centre par le tube d'alimentation, laisse passer la vapeur d'eau et l'air chaud qui s'élèvent du thermostat. Les parois supérieure et latérales, par contre, sont doublées intérieurement d'une lame de cellulose; elles délimitent ainsi une zone d'air chaud et humide au voisinage du cœur, tout en le laissant accessible aux électrodes sur toutes ses faces. Le thermostat mis en marche, la température de cette chambre se maintient à environ 30°C . Ses parois métalliques font bon contact entre elles et constituent une cage de Faraday, assurant le blindage électrique.

Le liquide de perfusion qui nous a donné les meilleurs résultats répondait à la formule suivante:

NaCl 9,0 g, KCl 0,42 g, CaCl_2 0,24 g, MgCl_2 0,08 g, NaHCO_3 0,25 g, glucose 1,0 g, eau distillée ad 1000 ml.

Cette solution de *Locke* (1900), préparée fraîchement avant chaque expérience ou conservée en solution concentrée selon le procédé de *Fleisch* (1922), a un pH stable d'environ 7,4 à 37°C . Elle est saturée d'oxygène dans le réservoir par un dégagement continu d'oxygène pur.

Dans quelques expériences, une solution de *Tyrode* (1910), modifiée selon *Draper* et *Weidmann* (1951), a été utilisée avec des résultats moins satisfaisants. Après une à deux heures de perfusion, le débit coronaire diminue et le cœur se refroidit. Cet inconvénient a été attribué à la

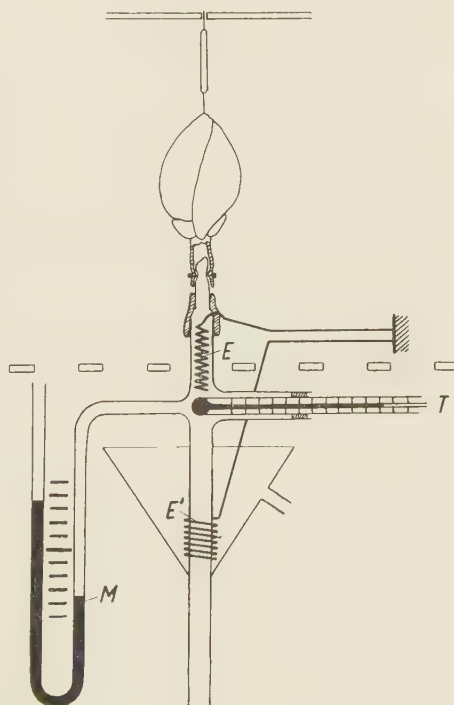


Fig. 2. Détail du dispositif de perfusion. E et E' = électrodes indifférentes, mises à la terre; M = manomètre à mercure; T = thermomètre.

teneur trop élevée de ce liquide en phosphate monosodique ($0,5 \text{ g/l}$ de $\text{NaH}_2\text{PO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$). La solution originale de Tyrode est, en effet, franchement alcaline en raison de sa forte concentration en bicarbonate de soude (1 g/l de NaHCO_3) et, pour obtenir une réaction proche de la neutralité, il est nécessaire d'y ajouter une importante quantité de phosphate primaire.

2. Prélèvement du cœur

Comme animaux d'expériences, 60 lapins de 2 à 3,5 kg et 6 chats de 2,2 à 3,8 kg, narcotisés par une injection intraveineuse ou intrapéritonéale d'un barbiturique ($0,5 \text{ ml}$ par kg d'une solution à 10% de Dial [Ciba] ou de Numal [Roche]) ont été utilisés.

Dès l'ouverture du thorax, la respiration est entretenue artificiellement par une pompe (Wyss 1940), ce qui permet de libérer l'aorte et de placer les ligatures sans hâte. L'animal est alors saigné à la carotide et une canule de verre, reliée à un réservoir de solution physiologique, oxygénée et portée à 37°C , est introduite dans l'aorte. Une fois la ligature de la canule serrée et une veine cave ouverte, le liquide de perfusion s'écoule dans la circulation coronaire et prévient toute coagulation, en prenant la place du sang. Il suffit alors de couper les grands vaisseaux et de raccorder la canule au tube d'alimentation du thermostat.

Un fil de soie, passé superficiellement dans l'épicarde de l'apex, permet de suspendre le cœur à une potence et de maintenir la pointe orientée vers le haut.

Dans la majorité des cas, le cœur n'a pas cessé de battre pendant toute l'opération.

3. Marche de la perfusion

La température de la solution qui pénètre dans l'aorte est maintenue constante entre 37 et 38°C pendant toute la durée de la perfusion. Pour la pression, l'optimum se situe entre 30 et 40 mm Hg. En effet, une pression trop haute favorise la filtration de la solution hors des capillaires et le cœur s'œdématie; par contre, une pression trop basse n'entretient plus un débit coronaire suffisant, le cœur se refroidit et sa fréquence s'abaisse.

En observant les valeurs indiquées, le cœur bat durant plusieurs heures à une fréquence constante, entre 120 et 140 contractions par minute. Le débit coronaire, qui dépend de la taille du cœur et de la pression de perfusion, varie entre 0,5 et 0,9 l de solution par heure.

La durée de la plupart des expériences a été limitée à 3 ou 4 heures; certaines, toutefois, furent prolongées pendant 5 ou 6 heures sans qu'apparussent de modifications importantes de l'électrogramme. Celui-ci, en effet, constitue un test sensible pour déceler les premiers signes de souffrance du myocarde: déformation de l'onde T, apparition d'un courant de lésion qui surélève ou abaisse le segment ST, alternances, troubles du rythme.

4. Enregistrement de l'électrogramme

Deux électrogrammes unipolaires sont dérivés simultanément de la surface du cœur, la terre commune étant reliée au liquide de perfusion.

Chaque *électrode différenciée* est constituée par un tube de verre effilé en pipette, rempli de solution physiologique, dans laquelle plongent un fil d'argent chloruré et une mèche de coton. Celle-ci dépasse l'extrémité effilée du tube de quelques millimètres; son diamètre est de 1 mm. Ce type d'électrode assure un bon contact avec le tissu, sans le léser ni le comprimer; en outre, les mouvements du cœur ne perturbent pas l'enregistrement. Chacune de ces électrodes est montée sur un support isolé, permettant d'exécuter, grâce à des crémaillères, des déplacements fins de dimension connue.

L'*électrode indifférente*, formée d'un fil d'argent chloruré, long de 30 cm, enroulé sur lui-même, est située à l'intérieur du tube d'alimentation, 8 cm au-dessous des

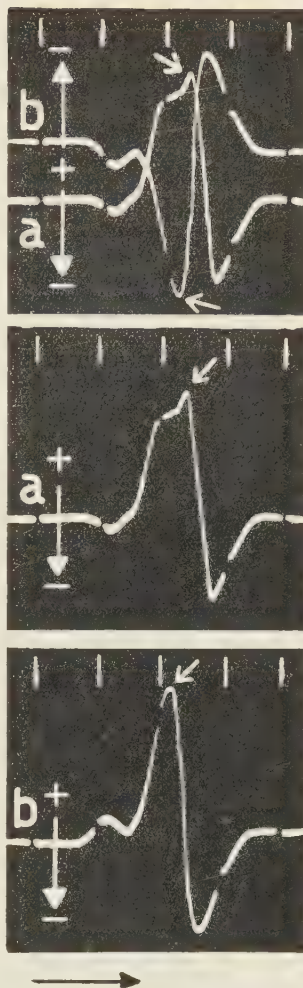
Fig. 3. Enregistrement simultané de deux complexes ventriculaires QRS, recueillis en deux points différents de la surface des ventricules.

En haut: Les deux électrogrammes, tels qu'ils apparaissent sur l'écran de l'oscillographe cathodique. Noter qu'un accident de même polarité s'inscrit dans des directions opposées sur chacune des courbes; la déflexion intrinsèque, variation négative rapide – correspondant, dans les deux courbes de cet exemple, au segment RS – est dirigée vers le bas dans l'électrogramme *a* et vers le haut dans l'électrogramme *b*.

Au milieu: L'électrogramme *a* seul.

En bas: L'électrogramme *b* seul, représenté ici dans le même sens que l'électrogramme *a*.

Les interruptions des faisceaux lumineux limitent des intervalles de 10 msec et fournissent des points de coïncidence entre les deux courbes. – Une flèche indique le début de chaque déflexion intrinsèque.



valvules sigmoïdes. Elle possède ainsi tous les caractères d'une électrode indifférente: grande surface, éloignement, contact diffus par l'intermédiaire de la solution physiologique. Cette électrode est mise à la terre et élimine, de cette manière, la plupart des parasites électriques apportés par le liquide de perfusion. Une électrode semblable, également reliée à la terre, plonge dans le liquide de l'entonnoir (fig. 2).

Les deux *amplificateurs*, du type asymétrique, comportent trois étages (triodes) couplés par capacité-résistance. Leur constante de temps dépasse deux secondes. Ils agissent sur les plaques déviateuses d'un tube à rayons cathodiques à double faisceau («split beam» Cossor) (Wyss 1950).

Le *balayage* de l'oscillographe est commandé, avec un retard approprié, par la fréquence cardiaque, au moyen du «déclencheur de doubles chocs» décrit par Wyss (1952). L'entrée du déclencheur est reliée à la sortie de l'un des amplificateurs. L'arrivée de chaque complexe QRS donne naissance, avec un retard variable, à une impulsion qui déclenche le balayage. En modifiant la durée du retard, on amène au centre de l'écran la partie de l'électrogramme qu'on veut étudier (le complexe QRS); puis on augmente l'étalement sur l'axe du temps, en négligeant les autres parties de la courbe (ondes P et T). Chaque complexe QRS est ainsi synchronisé avec le balayage, commandé par le complexe QRS précédent.

Le *marquage du temps* s'effectue par polarisation périodique de la grille du tube à rayons cathodiques au moyen d'impulsions négatives, délivrées par le petit stimulateur de Wyss (1950). Les interruptions des spots lumineux, distantes de 10 msec, fournissent en même temps des points de coïncidence entre les deux courbes (fig. 3).

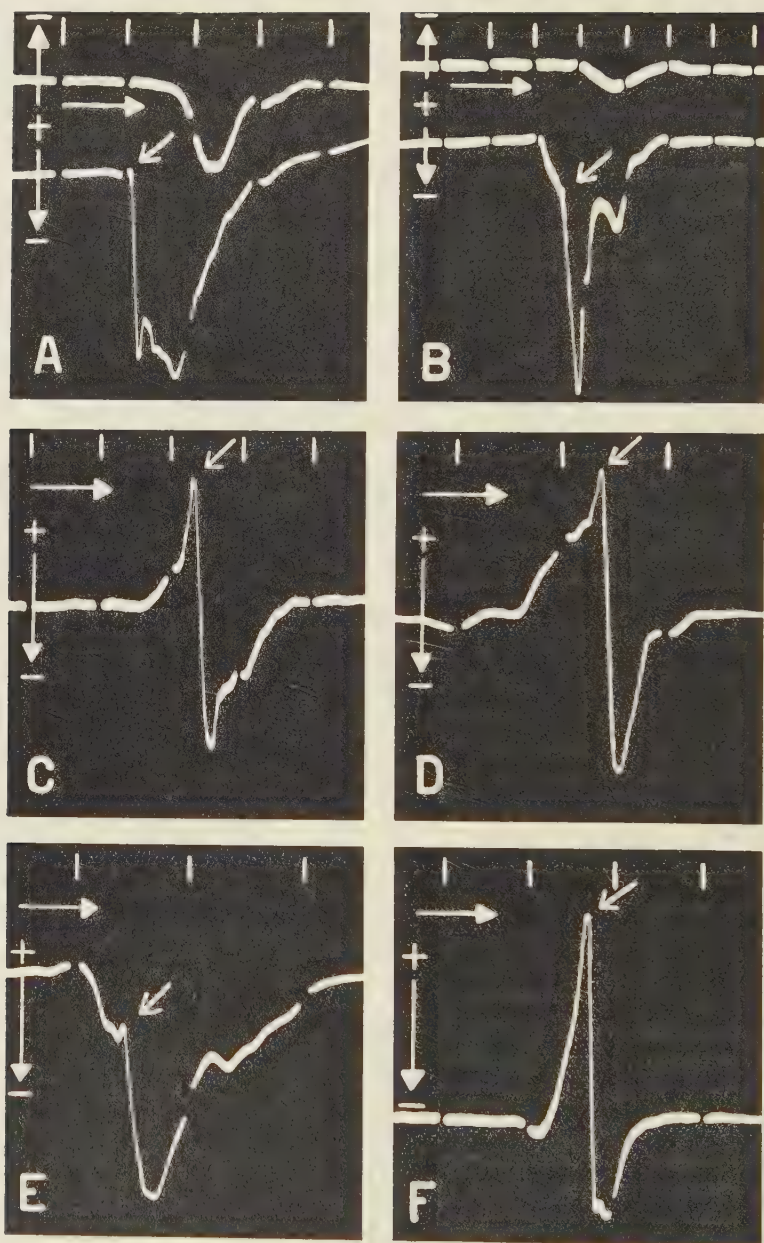


Fig. 4. Voir légende page 17.

L'enregistrement photographique est fait sur film; les courbes sont dessinées en projection, avec un agrandissement de sept fois.

La *polarité* des électrogrammes a été contrôlée lors de chaque expérience et sur tous nos enregistrements une flèche indique dans quelle direction se déplace le tracé, quand l'électrode exploratrice devient positive ou négative. Sur les figures où sont réunis les électrogrammes d'une série de points voisins, un déplacement de la courbe vers le bas correspond toujours à une négativation de l'électrode différenciée.

Résultats

1. La déflexion intrinsèque

Nos expériences montrent qu'une déflexion intrinsèque peut être recueillie en n'importe quel point de la surface du cœur, pour autant que l'électrode exploratrice repose sur du myocarde.

Nous avons pu capter cette déflexion sur le nœud sinusal, à la surface des oreillettes et des ventricules, à la surface du septum interventriculaire; nous l'avons retrouvée sur le cœur lésé dont le courant d'action est monophasique, comme sur le ventricule en fibrillation (fig. 4 et 5).

Dans tous les cas, la direction de la déflexion intrinsèque correspond à une négativation de l'électrode différenciée, soit à une diminution de sa positivité relative; cette caractéristique est absolument constante. La durée de la déflexion intrinsèque est très brève, de 1 à 4 msec; son amplitude, variable suivant le territoire exploré, est généralement grande, de 2 à 11 mV. Ce sont ces trois critères fondamentaux: *négativation*, *brève durée* et *grande amplitude*, qui permettent de reconnaître, à coup sûr, la déflexion intrinsèque.

Les autres caractères que *Lewis* lui attribue ne sont pas constants. La

Fig. 4. Complexes auriculaires d'électrogrammes recueillis à la surface des oreillettes. Différents aspects de la déflexion intrinsèque.

A: courbe sup.: Onde P de l'électrogramme de référence, recueilli à la surface du ventricule gauche. — Courbe inf.: Complexe auriculaire recueilli sur le nœud sinusal. La déflexion intrinsèque (accident rapide, dirigé vers le bas) constitue le premier accident de l'électrogramme; elle précède de 5 msec le début de l'onde P de l'électrogramme de référence.

B: courbe sup.: Onde P de l'électrogramme de référence, recueilli à la surface du ventricule gauche. — Courbe inf.: Complexe auriculaire recueilli à la surface de l'oreillette droite, à 2 mm du nœud sinusal. La courbe descend d'abord en pente douce (composante globale), puis brusquement, sans inversion de polarité, débute la variation négative rapide de la déflexion intrinsèque.

C et D: Complexes auriculaires recueillis à la surface de l'oreillette gauche. Dans ces deux exemples, la déflexion intrinsèque débute et s'achève par une inversion de polarité.

E: Complexe auriculaire recueilli sur l'oreillette gauche, près de la veine cave supérieure. La déflexion intrinsèque débute au-dessous de la ligne de zéro, par un accident secondaire.

F: Complexe auriculaire recueilli à la surface de l'oreillette droite. La déflexion intrinsèque débute à un sommet par une brusque inversion de polarité, mais s'achève avant le point de la plus forte négativité.

Temps: 10 msec. — Une flèche indique le début de chaque déflexion intrinsèque.

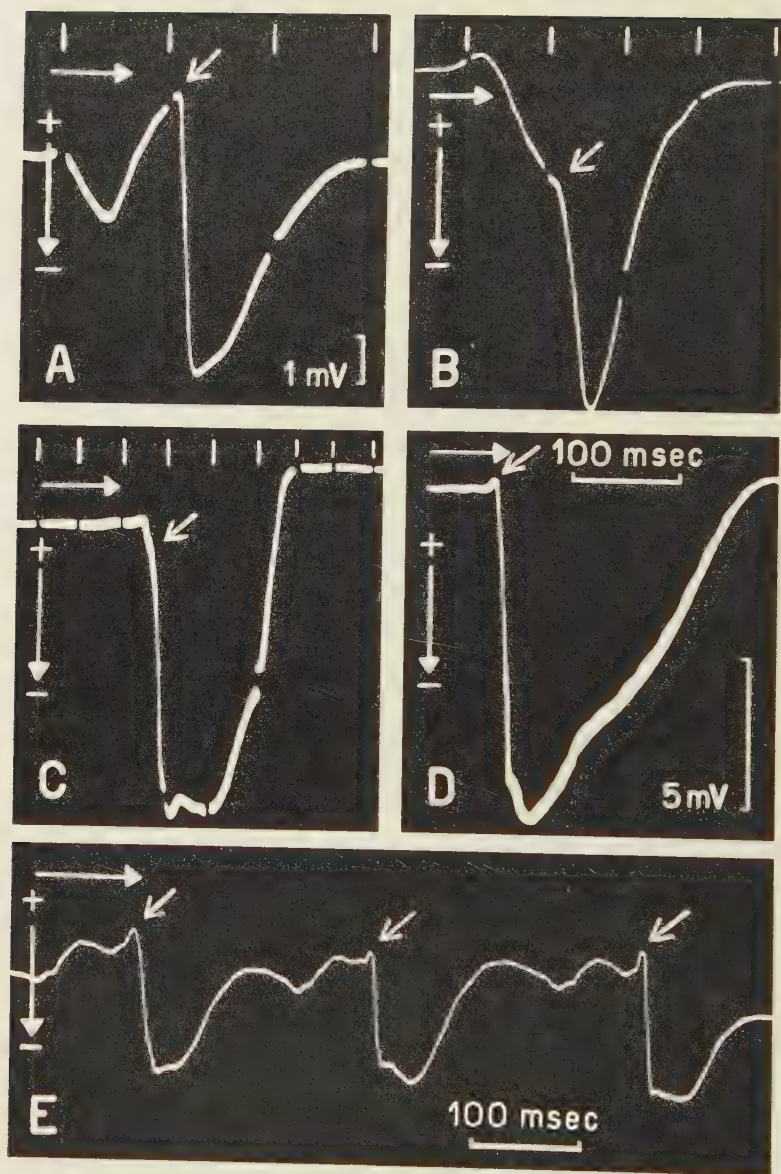


Fig. 5. Voir légende page 19.

déflexion intrinsèque ne débute pas nécessairement à un sommet de l'électrogramme, par une brusque inversion de polarité; mais souvent, au contraire, la courbe descend en pente douce du sommet, qui marque la plus grande positivité de l'électrode exploratrice, jusqu'à un bref palier, d'où part subitement une variation rapide de même direction qui, elle, constitue la déflexion intrinsèque (fig. 4 B, 4 E et 5 B). Ce fait a déjà été signalé par *Schaefer*, en 1951, dans son traité d'électrocardiographie. D'une façon tout à fait analogue, cette variation négative rapide peut être interrompue avant d'avoir atteint le point de la plus forte négativité (sommet S); elle s'achève alors par une brusque angulation, à partir de laquelle la déclivité est beaucoup moins accentuée (fig. 4 F, 5 D et 5 E). Enfin, la déflexion intrinsèque n'est pas toujours rigoureusement rectiligne; elle présente parfois de petits accidents secondaires: crochets, paliers, qui se surajoutent à la variation rapide (courbe 4 de la fig 8 b).

On peut s'étonner que ces détails de la courbe aient échappé à *Lewis*; mais cet auteur ne disposait que d'un galvanomètre à corde, dont l'inertie est plus grande que celle d'un amplificateur avec oscillographe cathodique et, d'autre part, il ne s'intéressait que médiocrement à l'analyse de l'électrogramme, dans lequel il ne recherchait qu'un repère chronologique, lui permettant de déterminer le moment d'activation d'un point de l'épicarde. Il rejetait les courbes trop complexes ou les modifiait en déplaçant l'électrode distale.

2. Les oreillettes

La paroi auriculaire du cœur de lapin et de chat est formée d'une lame très fine de myocarde. La disproportion entre l'épaisseur et les autres dimensions de cette paroi est si grande que pratiquement l'excitation se propage

Fig. 5. Electrogrammes ventriculaires. Différents aspects de la déflexion intrinsèque.

A: Complexe ventriculaire QRS, recueilli sur la face antérieure du ventricule gauche, près de la base. La déflexion intrinsèque débute et s'achève par une brusque inversion de polarité.

B: Complexe ventriculaire recueilli au milieu de la face antérieure du ventricule gauche. La déflexion intrinsèque débute au-dessous de la ligne de zéro par une inflexion plus rapide du tracé.

C: Complexe ventriculaire recueilli sur la face droite du septum interventriculaire, dans sa partie supérieure. La déflexion intrinsèque est située tout au début de ce complexe.

D: Electrogramme ventriculaire monophasique d'un cœur lésé. L'électrode exploratrice est située sur la face latérale du ventricule gauche intact; alors que le ventricule droit est ischémié. On reconnaît aisément la déflexion intrinsèque (accident rapide, dirigé vers le bas) qui, dans cet exemple, n'atteint pas le point de la plus forte négativité.

E: Fibrillation ventriculaire. L'électrode exploratrice, placée à la surface du ventricule droit, recueille une déflexion intrinsèque (accident rapide, dirigé vers le bas) à chaque activation du myocarde sous-jacent.

Temps: pour A, B et C: 10 msec. — Une flèche indique le début de chaque déflexion intrinsèque.

dans un plan et non dans un volume, comme au niveau des ventricules. A cette disposition anatomique plus simple correspond un électrogramme moins complexe; c'est la raison qui nous a conduit, après *Lewis*, à commencer notre travail par l'étude des oreillettes.

Une électrode, placée pour toute la durée de l'expérience en un point de la surface des ventricules – le plus souvent dans la région apicale – recueille l'électrogramme de référence. Le complexe auriculaire, capté ainsi à distance des oreillettes, est constitué uniquement de la composante globale. Sa forme n'est pas toujours la même, car la position relative des différentes parties des oreillettes change d'une expérience à l'autre. Les parois auriculaires, en raison de leur souplesse, se laissent facilement déplacer et déformer et ne conservent pas une forme propre; tantôt les oreillettes sont vides, tantôt elles retiennent un peu de liquide. Aussi comprend-on que l'électrogramme auriculaire, recueilli à distance, n'ait pas toujours le même aspect. Le plus souvent, il est formé d'une courbe monophasique – exprimant une positivité relative de l'électrode différenciée – dont l'amplitude s'accroît à mesure qu'on se rapproche des oreillettes. Parfois, le complexe auriculaire est légèrement diphasique; une phase négative de faible amplitude précède l'accident principal ou plus rarement le suit.

Si l'on prend soin de manipuler les électrodes avec délicatesse, l'onde P de l'électrogramme de référence peut demeurer inchangée pendant toute l'expérience, condition indispensable pour permettre ensuite la comparaison des courbes entre elles.

A. L'électrogramme du nœud sinusal

Chez le lapin, comme chez le chat, le nœud sinusal est constitué par une bandelette rosée, renflée dans sa partie céphalique, qui s'étend, dans la moitié supérieure du sulcus terminalis, sur le bord droit de la veine cave supérieure.

En recherchant le point du nœud sinusal qui présente la déflexion intrinsèque la plus précoce, il est aisé de situer exactement le «pace-maker»; nous l'avons toujours trouvé dans la portion céphalique du nœud. Son électrogramme (fig. 4 A) débute d'emblée par la variation négative rapide, puis la courbe remonte lentement, en présentant quelques petits accidents, jusqu'à la ligne isoélectrique, qu'elle dépasse un peu; ce potentiel consécutif, de faible amplitude, dure plus longtemps que la première phase de la courbe. Souvent la déflexion intrinsèque du nœud sinusal débute plus tôt que le premier accident du complexe auriculaire de référence (1 à 7 msec). Cet intervalle, dont la durée varie avec la forme de l'onde P de l'électrogramme de référence, indique simplement que l'électrode ventriculaire ne recueille qu'une partie des potentiels électriques produits par les oreillettes.

Si l'on déplace l'électrode exploratrice de 1-2 mm, l'électrogramme commence par une variation négative, mais sa première partie descend en pente

douce pendant plusieurs millisecondes, avant que débute la déflexion intrinsèque (fig. 4 B). Cette première partie de la courbe constitue la déflexion extrinsèque, au sens de *Lewis*, mais elle a, dans ce cas, la même polarité que la composante localisée.

Lorsqu'on éloigne davantage l'électrode, la courbe devient diphasique; elle commence par une variation positive, qui précède la déflexion intrinsèque (fig. 4 C).

B. La composition de l'électrogramme auriculaire

Quel que soit le point de la surface auriculaire que l'on explore, les deux composantes focale et globale sont toujours intimement mêlées. Pour tenter de les dissocier, nous avons dérivé successivement les électrogrammes d'une série de points voisins, dans l'espoir d'influencer davantage l'une des deux composantes, la composante focale selon notre hypothèse. En déplaçant l'électrode exploratrice de quelques millimètres, nous recueillons, en effet, la composante focale d'un nouveau territoire, tandis que la composante globale est captée dans des conditions à peine différentes de celles de l'enregistrement précédent.

Pour vérifier par la même occasion l'ordre d'excitation des oreillettes, nous avons choisi des points situés sur des axes passant par le nœud sinusal.

Sur la fig. 6 a sont réunis les électrogrammes recueillis, à des intervalles de 2 mm, sur le bord supérieur de l'oreillette droite d'un cœur de lapin. Tous les complexes auriculaires ont la même durée de 30 msec et débutent au même moment. Dans chaque courbe, on retrouve la déflexion intrinsèque, facilement reconnaissable à sa direction, à son amplitude et à sa brève durée. Précoce au voisinage du nœud sinusal, cette déflexion survient de plus en plus tardivement à mesure que l'électrode s'éloigne et, à la périphérie de l'oreillette, elle constitue l'un des derniers accidents du complexe auriculaire.

Sur l'électrogramme du point le plus éloigné du nœud sinusal (tracé 1 de la fig. 6 a), toute la partie de la courbe qui précède le début de la déflexion intrinsèque n'est constituée que de la composante globale, puisqu'à ce moment de la révolution cardiaque, le territoire au contact de l'électrode exploratrice n'a pas encore été activé. Ce complexe auriculaire débute par trois soulèvements successifs de la ligne de base, puis la courbe s'élève rapidement jusqu'au point de la plus grande positivité, le sommet P', qui constitue dans cet exemple le début de la déflexion intrinsèque. Les électrogrammes des deux points suivants (tracés 2 et 3) présentent aussi ces trois voissures successives, mais les deux dernières font déjà partie de la phase ascendante du sommet P'. Si l'on se rapproche davantage du nœud sinusal (tracés 4 et 5), on ne retrouve que le premier soulèvement et finalement que la branche montante de l'accident P'. Les sommets de ces trois voissures surviennent toujours au même moment et s'inscrivent sur la même abscisse dans toutes

ces courbes, quoique leurs amplitudes diffèrent. Pour les points proches du nœud sinusal (tracés 5 à 8), c'est dans la dernière partie du complexe auriculaire que l'on trouve des accidents synchrones d'une courbe à l'autre. En outre, tous ces électrogrammes présentent, à la fin du complexe auriculaire,

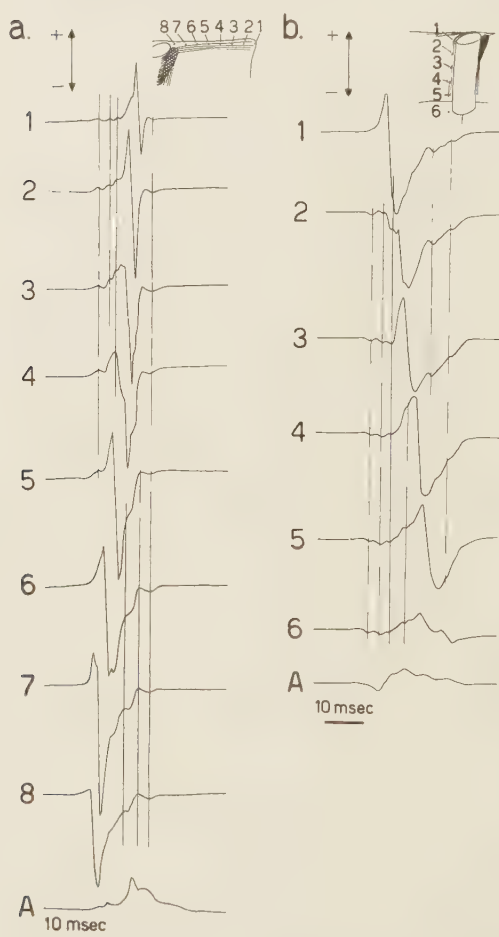


Fig. 6. Séries de complexes auriculaires recueillis : *a* sur le bord supérieur de l'oreillette droite, *b* sur l'oreillette gauche, le long des veines caves, à des intervalles de 2 mm. — Dans ces deux exemples, la déflexion intrinsèque apparaît d'autant plus tôt que le point exploré est plus proche du nœud sinusal. Les principaux accidents de la composante globale surviennent, par contre, au même moment dans toutes les courbes. — Tracé A : onde P de l'électrogramme de référence.

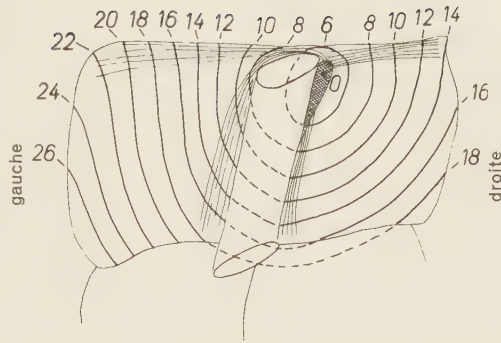
une dépression de la ligne isopotentielle, dont le fond s'inscrit au même moment sur toutes les courbes.

Si l'on compare les électrogrammes recueillis sur d'autres axes, aussi bien sur l'oreillette droite que sur l'oreillette gauche (fig. 6b), on retrouve toujours, dans les parties du complexe auriculaire qui ne constituent pas la déflexion intrinsèque, un certain nombre d'accidents synchrones d'une courbe à l'autre.

C. L'ordre d'excitation à la surface des oreillettes

Sur tous les axes que nous avons étudiés, nous avons pu vérifier la propagation radiaire de l'excitation : plus un point est proche du nœud sinusal plus l'excitation l'atteint précocement. Les figures 6a et 6b montrent que l'ordre d'apparition de la déflexion intrinsèque correspond à l'éloignement plus ou moins grand de l'électrode exploratrice, par rapport au nœud sinusal. Par contre, l'intervalle entre les composantes focales de deux courbes voisines n'est pas toujours identique, malgré des déplacements égaux de l'électrode. Ces différences

Fig. 7. Schéma de l'ordre d'activation (ordre d'apparition de la déflexion intrinsèque) à la surface des oreillettes du cœur de lapin. — Des lignes réunissent tous les points activés au même moment; les nombres placés en regard de ces lignes expriment, en millisecondes, le moment de l'activation, mesuré dès l'instant où l'excitation apparaît au niveau du nœud sinusal.



peuvent s'expliquer par un déploiement inégal de la paroi auriculaire et par une orientation des fibres myocardiques ne correspondant pas à celle de l'axe étudié. On constate, en effet, que l'excitation se propage le plus rapidement là où les fibres sont groupées en faisceaux.

Nous avons résumé l'ensemble de nos mensurations par le schéma de la fig. 7, où des lignes réunissent tous les points activés au même moment. Les auricules, qui constituent les parties les plus périphériques des oreillettes, sont excitées 25 à 30 msec après le nœud sinusal.

3. Les ventricules

A. La composition de l'électrogramme ventriculaire

Depuis 35 ans, de nombreux auteurs ont recueilli des électrogrammes unipolaires à la surface des ventricules du cœur de mammifère. La plupart d'entre eux explorèrent la face antérieure, qui est la plus accessible sur le cœur in situ, et choisirent des points définis anatomiquement, comme la bifurcation ou le coude d'une artère coronaire. Les uns (*Lewis et Rothschild* 1915, *Barker, Macleod et Alexander* 1930, *Wilson, Macleod et Barker* 1931, *Abramson et Jochim* 1937) cherchaient à déterminer le moment d'activation du point exploré; d'autres (*Nylin et Crafoord* 1942, *Borchardt et Groedel* 1945, *Groedel et Borchardt* 1945 et 1948, *Groedel, Kisch et Borchardt* 1947, *Kisch, Groedel et Borchardt* 1948) se contentèrent de décrire la morphologie de la courbe en fonction de la position de l'électrode exploratrice.

Notre but est différent; comme nous l'avons fait au niveau des oreillettes, nous voulons tenter de dissocier les composantes globale et focale, en comparant les électrogrammes de points voisins. Sur les faces antérieure, latérale et postérieure de chaque ventricule, nous avons successivement exploré une série de points, situés sur un méridien réunissant la pointe du cœur au sillon auriculo-ventriculaire et séparés les uns des autres par des intervalles de 2 mm.

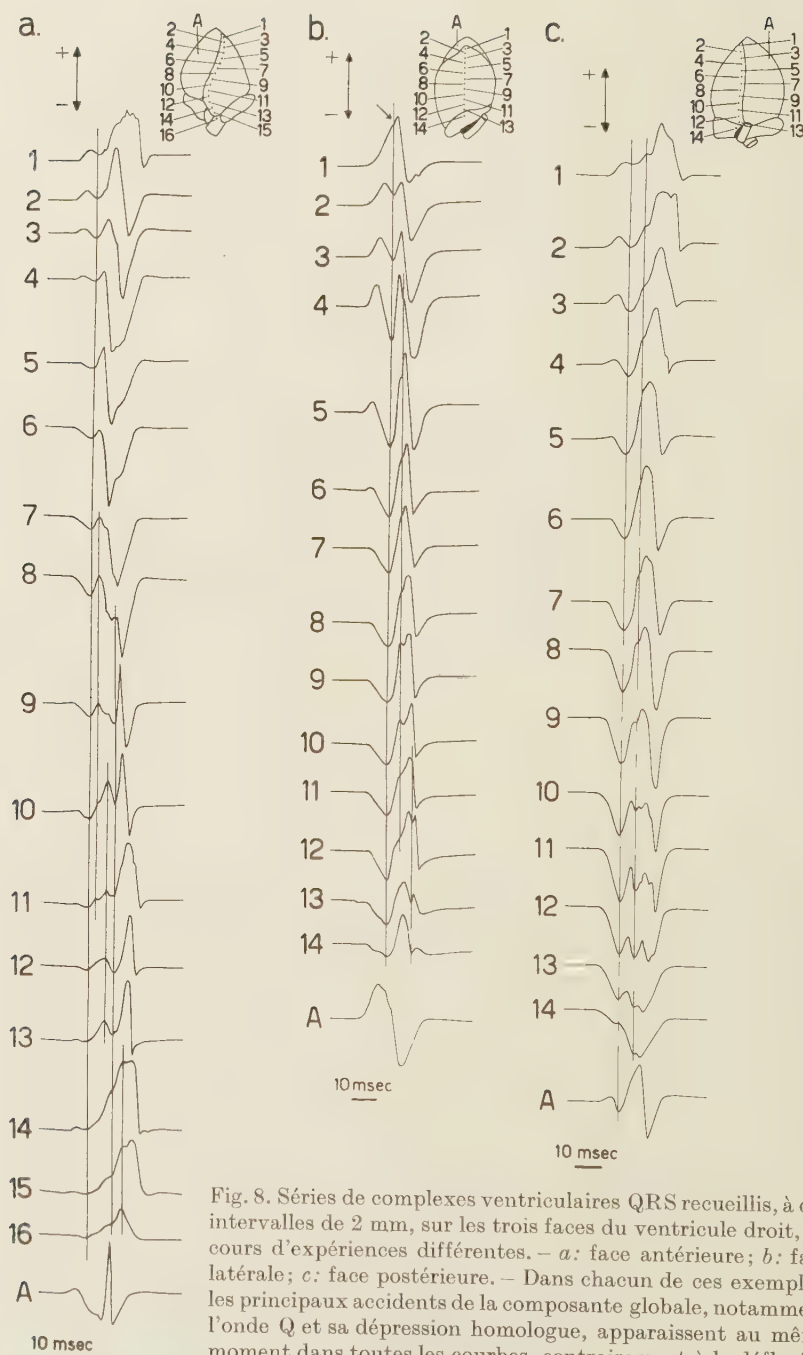


Fig. 8. Séries de complexes ventriculaires QRS recueillis, à des intervalles de 2 mm, sur les trois faces du ventricule droit, au cours d'expériences différentes. — *a*: face antérieure; *b*: face latérale; *c*: face postérieure. — Dans chacun de ces exemples, les principaux accidents de la composante globale, notamment l'onde Q et sa dépression homologue, apparaissent au même moment dans toutes les courbes, contrairement à la déflexion intrinsèque qui survient dans chaque tracé à des temps différents. A: complexe ventriculaire QRS de l'électrogramme de référence.

L'électrode de référence, généralement située près de l'apex, n'est pas déplacée pendant toute la durée de l'expérience.

Pour définir les principaux accidents de ces électrogrammes sans créer une nouvelle nomenclature, nous avons utilisé les lettres conventionnelles Q, R, S et T, réservées dans la règle aux dérivations standard. La polarité fixée par *Einthoven* (1895) a été respectée et dans la dérivation apicale, l'accident principal du complexe ventriculaire — sa composante globale, avant tout — correspond à une positivité de l'apex par rapport à la terre, comme c'est le cas pour le sommet R des dérivations standard. En conséquence, nous nommons Q, le premier accident du complexe ventriculaire, quand il correspond à une négativation de l'électrode exploratrice; R, le premier accident positif et S, la seconde négativation de l'électrode différenciée.

a) Face latérale du ventricule droit

Sur la fig. 8 b sont réunis les électrogrammes recueillis, au cours d'une expérience, sur le méridien passant au milieu de la face latérale du ventricule droit.

Dans chaque courbe, on reconnaît la déflexion intrinsèque, rapide, ample, toujours dirigée vers le bas et survenant à des temps différents, suivant la position de l'électrode. Le premier électrogramme (tracé 1 de la fig. 8 b), enregistré près de l'apex est simplement diphasique. La courbe ne débute pas par une onde Q, mais s'élève progressivement de la ligne isopotentielle jusqu'au sommet R, en présentant, peu avant celui-ci, une discrète impression (signalée sur notre dessin par une flèche); le segment rectiligne RS constitue la déflexion intrinsèque, puis la courbe rejoint la ligne de base. L'électrogramme recueilli 2 mm plus bas est déjà fort différent; la courbe débute toujours au même moment par une phase ascendante, mais elle possède deux sommets R (Ra et Rb), séparés par une dépression. Les courbes suivantes conservent la même physionomie, mais à mesure que l'électrode exploratrice s'éloigne de l'apex, la dépression s'approfondit, pour finalement atteindre et dépasser la ligne isoélectrique. Tandis que le sommet Rb apparaît de plus en plus tardivement et que son amplitude s'accroît d'une courbe à l'autre, le premier sommet Ra se rapproche toujours davantage de la ligne de base et, à mi-hauteur du ventricule, il a disparu; le complexe ventriculaire est alors constitué par une courbe triphasique du type habituel, avec ses trois sommets Q, R et S (tracé 7). Les électrogrammes des points plus proches de l'oreillette demeurent triphasiques, avec une onde Q plus profonde que l'onde S; le segment QR s'allonge progressivement et présente des accidents secondaires, qui se répètent sur plusieurs courbes.

Si l'on examine maintenant l'ensemble des tracés, on constate d'une part que la déflexion intrinsèque survient à des temps différents pour chaque point exploré, d'autre part que l'onde Q et sa dépression homologue pour

les électrogrammes supérieurs s'inscrivent sur une même valeur d'abscisse dans toutes les courbes. On voit aussi que les accidents du segment QR coïncident d'une courbe à l'autre et que l'un d'eux survient au même moment que le sommet R du complexe ventriculaire recueilli sur le même méridien, mais à la surface de l'oreillette (tracé 14), complexe qui n'est constitué que de la composante globale.

Les résultats de six autres expériences sont résumés sur le graphique de la fig. 10 b, où le temps s'inscrit en abscisse et le niveau du point exploré en ordonnée. Pour chaque électrogramme, nous avons porté sur la partie de gauche le moment d'apparition de l'onde Q ou de sa dépression homologue et sur la partie de droite celui de la déflexion intrinsèque, mesuré au milieu de la variation rapide. La courbe moyenne du moment d'apparition de l'onde Q est une droite verticale, celle de la déflexion intrinsèque, une courbe à large concavité dirigée vers la droite.

Sur la face latérale du ventricule droit, la déflexion intrinsèque apparaît d'abord à l'union du tiers supérieur et du tiers moyen, puis un peu plus tard dans les régions apicale et moyenne et en dernier lieu au voisinage du sillon auriculo-ventriculaire. L'intervalle moyen entre le point le plus précoce et le point le plus tardif est de 10 msec sur ce méridien.

b) Face antérieure du ventricule droit

Sur ce méridien (fig. 8 a), l'aspect des électrogrammes varie considérablement suivant le niveau qu'explore l'électrode; près de l'apex et sur le cône artériel, le complexe ventriculaire est constitué avant tout par un large sommet R, à mi-hauteur, au contraire, par une profonde onde S. Dans toutes ces courbes, on identifie aisément la déflexion intrinsèque qui survient à des temps très différents et ne débute pas toujours à un sommet.

Comme sur la face latérale, l'électrogramme recueilli près de l'apex présente, dans la phase ascendante du sommet R, une dépression qui s'approfondit dans les courbes suivantes et devient une onde Q dans la partie moyenne de ce méridien, quand le premier sommet Ra a disparu. Cette onde Q, ou sa dépression homologue, apparaît toujours au même moment de la révolution cardiaque, dans toutes les courbes. On trouve encore d'autres accidents synchrones d'une courbe à l'autre, dans les électrogrammes recueillis sur la moitié inférieure de ce méridien; c'est notamment le cas pour les sommets Ra des courbes 7 à 9 et 10 à 13 et pour la dépression qui sépare les sommets Ra et Rb sur les courbes 8 à 13.

Le graphique de la fig. 10 a montre que l'ordre d'apparition de la déflexion intrinsèque sur la face antérieure du ventricule droit est le même que sur la face latérale, avec toutefois des intervalles plus longs entre le point le premier activé et le point le plus tardif; ainsi la déflexion intrinsèque du cône artériel apparaît, en moyenne, 18 msec plus tard que celle du point le plus précoce de ce méridien.

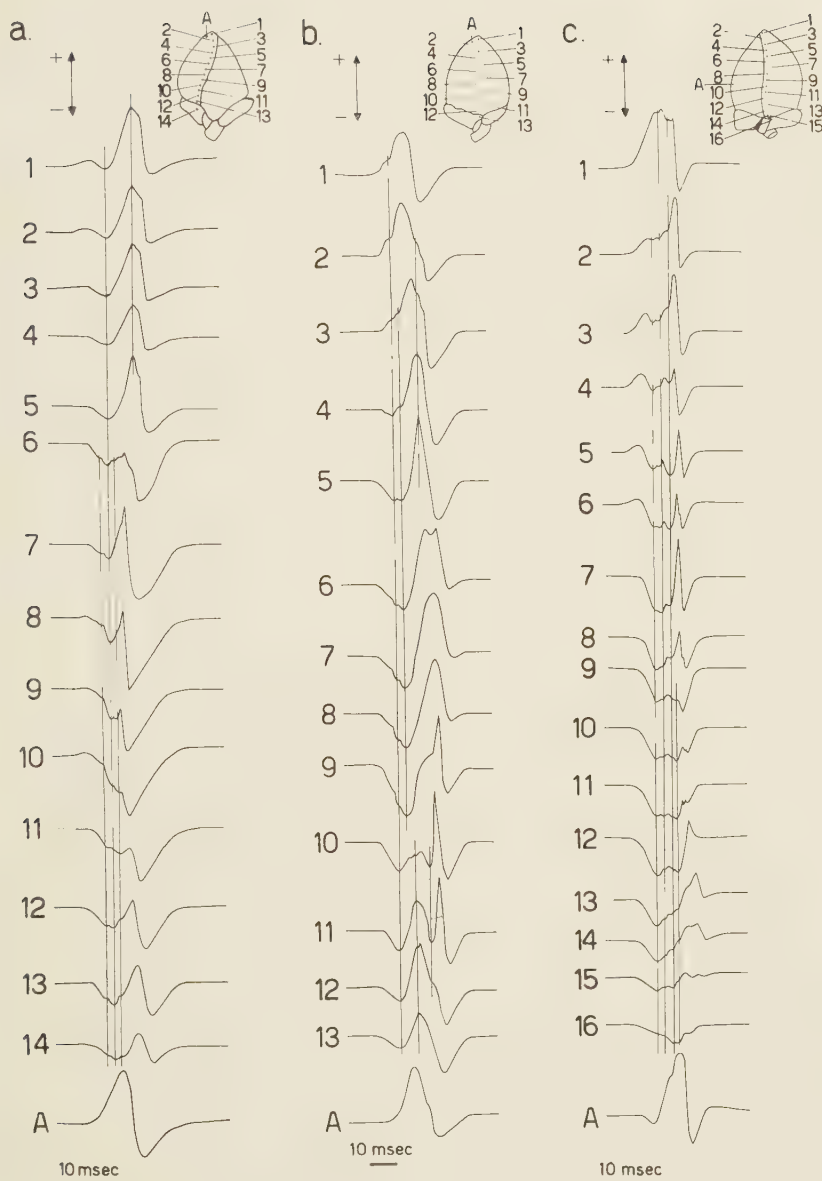


Fig. 9. Séries de complexes ventriculaires QRS recueillis à des intervalles de 2 mm, sur les trois faces du ventricule gauche, au cours d'expériences différentes. — a: face antérieure; b: face latérale; c: face postérieure. — Dans chacun de ces exemples, plusieurs accidents de la composante globale, notamment l'onde Q, sont synchrones d'une courbe à l'autre, alors que la déflexion intrinsèque survient à des temps différents dans chaque tracé. — A: complexe ventriculaire QRS de l'électrogramme de référence.

c) Face postérieure du ventricule droit

Sur cette face (fig. 8 c), la déflexion intrinsèque apparaît toujours tardivement, avec des écarts peu importants d'une courbe à l'autre; elle débute souvent après le sommet R.

Le complexe ventriculaire de l'électrogramme apical présente de nouveau, dans la phase ascendante du sommet R, une large dépression, suivie un peu plus haut d'un bref palier. La dépression s'approfondit sur les courbes suivantes et, à mi-hauteur, devient une onde Q. Comme sur les autres faces du ventricule droit, ces accidents sont tous synchrones. Le palier qui suit la dépression se retrouve aussi sur les électrogrammes suivants; à peine marqué sur les courbes 5 et 6, il réapparaît dans la portion moyenne de ce méridien, toujours sur la même abscisse et devient finalement, dans les courbes inférieures, le sillon qui sépare les sommets Ra et Rb. Ces dernières courbes se caractérisent par la profondeur des ondes Q et S et la faible amplitude des sommets R, qu'on ne devrait plus appeler ainsi, puisqu'ils n'atteignent même pas la ligne de base.

L'ordre d'apparition de la déflexion intrinsèque sur ce méridien (fig. 10 c) est le même que sur les autres faces de ce ventricule, avec un intervalle moyen de 7 msec entre le point le plus précoce et le point le plus tardif.

d) Face latérale du ventricule gauche

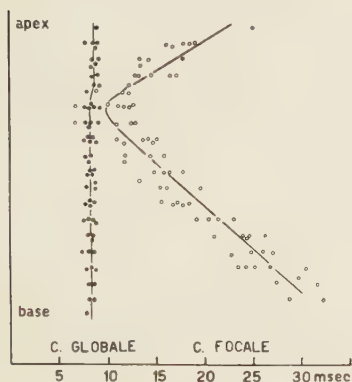
Sur ce méridien (fig. 9 b), la déflexion intrinsèque apparaît toujours dans la seconde moitié du complexe ventriculaire. L'électrogramme recueilli près de la pointe présente, sur la branche montante du sommet R, une impression qui se répète sur les courbes suivantes et qui, dès le tracé 3, est accompagnée d'un palier, situé un peu plus haut sur le même segment. Ces deux accidents s'approfondissent à mesure que l'électrode s'abaisse et dans la courbe 5 ils constituent, côte à côte, l'onde Q d'un complexe ventriculaire triphasique. Dans la moitié inférieure de ce méridien, c'est le plus profond de ces deux accidents qui forme, tour à tour, la pointe de l'onde Q, soit le second dans les électrogrammes 5 à 9 et le premier dans les courbes 10 à 13. Chacun d'eux s'inscrit sur une même valeur de l'abscisse, dans toutes les courbes. Les électrogrammes inférieurs présentent encore quelques accidents synchrones, notamment le sommet Ra et le sillon séparant Ra de Rb.

Sur le graphique de la fig. 10 e, la ligne qui réunit les points figurant le moment d'apparition de la déflexion intrinsèque dessine une courbe à large concavité dirigée vers la gauche: à mi-hauteur, la déflexion intrinsèque survient, en moyenne, 7 msec plus tard qu'aux extrémités du méridien.

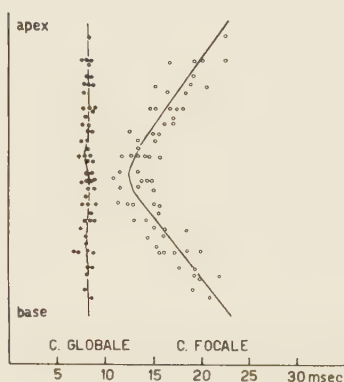
e) Face antérieure du ventricule gauche

Les courbes 9, 10 et 11 de la fig. 9 a fournissent de nouveaux exemples de déflexions intrinsèques ne débutant pas au sommet R par une brusque inversion de polarité, mais partant directement de l'onde Q ou d'un petit

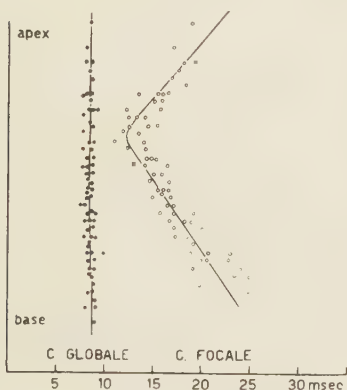
a. FACE ANTERIEURE DU VENTRICULE DROIT



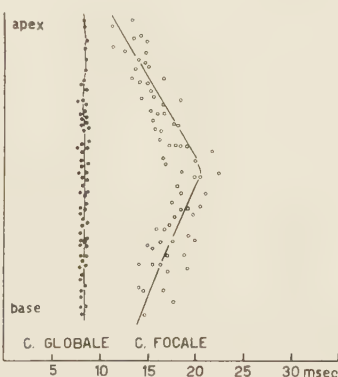
d. FACE ANTERIEURE DU VENTRICULE GAUCHE



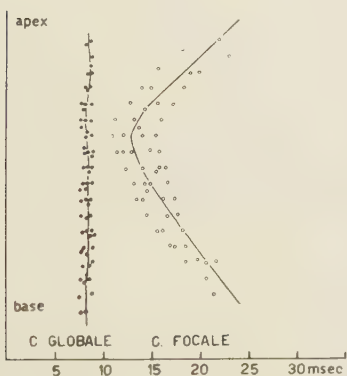
b. FACE LATÉRALE DU VENTRICULE DROIT



e. FACE LATÉRALE DU VENTRICULE GAUCHE



c. FACE POSTÉRIEURE DU VENTRICULE DROIT



f. FACE POSTÉRIEURE DU VENTRICULE GAUCHE

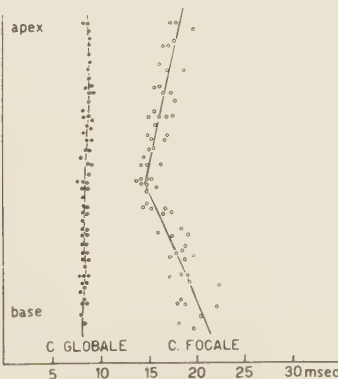


Fig. 10. Courbes moyennes du moment d'apparition de la déflexion intrinsèque (composante focale) et d'un accident caractéristique de la composante globale (l'onde Q) au niveau de tous les points explorés sur chacune des faces du cœur. Sur chaque graphique sont reportées les mensurations de six expériences. — En abscisse: le temps en msec; en ordonnée: le niveau du point exploré sur un méridien réunissant la pointe du cœur au sillon auriculo-ventriculaire.

sommet situé au-dessous de la ligne isopotentielle. Sur ce méridien l'électrogramme apical, déjà, présente dans la phase ascendante du sommet R une profonde dépression, qu'on retrouve dans les courbes suivantes où elle constitue l'onde Q. A partir de l'électrogramme 9, cette première dépression est suivie d'un second accident de même aspect, qui survient immédiatement après elle et qui forme, dans les courbes 10 et 11 seulement, la pointe de l'onde Q. Chacun de ces accidents réapparaît au même moment dans toutes les courbes inférieures, même dans l'électrogramme recueilli à la surface de l'oreillette (tracé 14).

L'ordre d'apparition de la déflexion intrinsèque (fig. 10 d) est ici le même que sur la face antérieure du ventricule droit; elle survient d'abord à mi-hauteur et en dernier lieu – avec un retard moyen de 7 msec – dans la région apicale et près du sillon auriculo-ventriculaire.

f) Face postérieure du ventricule gauche

Dans cette expérience (fig. 9 c), alors que la déflexion intrinsèque de la plupart des électrogrammes se compose d'une grande variation négative, celle des courbes 9 à 11 est à peine reconnaissable. Cette très faible amplitude peut s'expliquer soit par un contact trop indirect entre l'électrode et le myocarde – le sillon interventriculaire postérieur est souvent adipeux et l'on ne distingue pas toujours la limite de la musculature – soit par la négativité, particulièrement marquée dans cette expérience, du point de départ de la déflexion intrinsèque. Dans les dernières courbes, où cette déflexion débute plus tard et à partir d'un point situé au-dessus de la ligne isopotentielle, l'amplitude de la variation négative est de nouveau plus grande.

Comme sur les autres faces, les électrogrammes supérieurs présentent, dans la phase ascendante du sommet R, une dépression qui devient une onde Q dans les courbes suivantes. Sur ce méridien, cette onde ou sa dépression homologue est formée de plusieurs accidents – ici, trois – dont l'amplitude varie d'une courbe à l'autre. Ainsi, bien que chacun de ces accidents s'inscrive toujours sur une même valeur d'abscisse, la pointe de l'onde Q est formée tantôt par la première dépression, tantôt par la troisième.

Le graphique de la fig. 10 f montre que la déflexion intrinsèque apparaît d'abord à mi-hauteur, puis dans la région apicale et finalement au voisinage du sillon auriculo-ventriculaire, avec un retard moyen de 5 msec sur le point le plus précoce de ce méridien.

B. L'ordre d'excitation à la surface des ventricules

L'électrode de référence occupant la même position pendant toute la durée de l'expérience, nous avons pu comparer le moment d'apparition de la déflexion intrinsèque pour tous les points explorés et déterminer ainsi l'ordre d'activation à la surface des ventricules. L'ensemble des mensurations faites sur le cœur de lapin est résumé par les schémas de la fig. 11, où le nombre

inscrit en regard de chaque point exprime, en millisecondes, le moment de son activation, mesuré dès l'instant où l'excitation atteint le premier point de la surface épicaudique. Ce premier point est lui-même activé 10 msec après le début du complexe ventriculaire QRS.

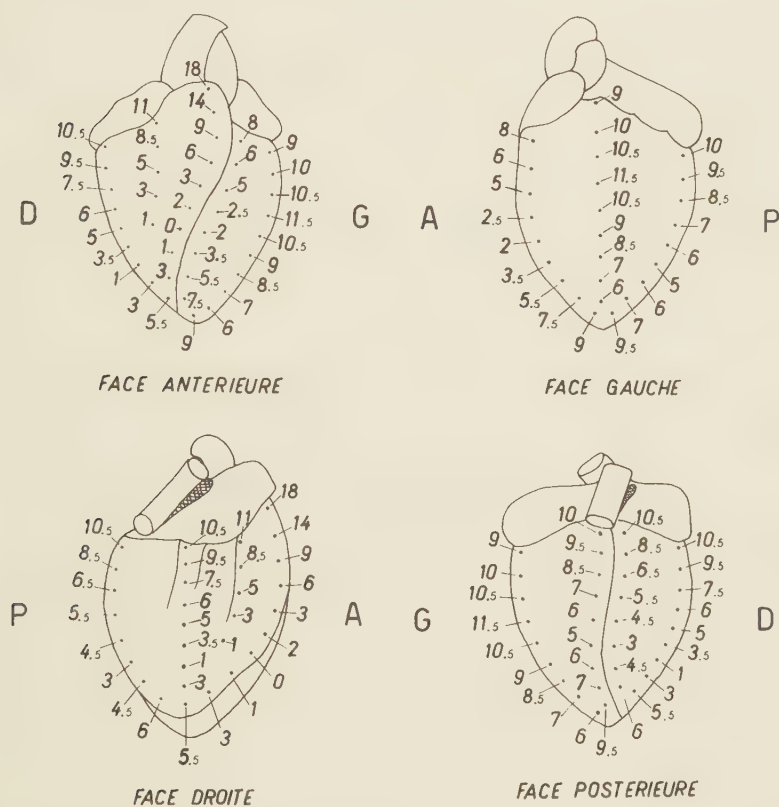


Fig. 11. Schéma de l'ordre d'activation (ordre d'apparition de la déflexion intrinsèque) à la surface des ventricules du cœur de lapin. — Le nombre placé en regard de chaque point exprime, en millisecondes, le moment de son activation mesuré dès l'instant où l'excitation atteint le premier point de la surface épicaudique (point 0 msec). Pour connaître les temps d'excitation par rapport au début de l'activation ventriculaire (début du complexe QRS) il faut ajouter 10 msec aux valeurs indiquées sur ce schéma.

Sur les deux ventricules, l'excitation apparaît d'abord sur la face antérieure, à l'union du tiers moyen et du tiers apical, un peu plus tôt à droite qu'à gauche.

Sur le ventricule droit, elle atteint en quelques millisecondes les territoires contigus au point le premier activé, puis elle se distribue sur les faces antérieure, latérale et postérieure; elle survient plus tardivement le long du

sillon auriculo-ventriculaire droit et en dernier lieu, avec un retard de 15 à 20 msec, à la surface du cône artériel.

Sur le ventricule gauche, l'excitation, apparue d'abord sur la face antérieure, se propage à la région apicale, à la face postérieure, puis à la base du ventricule et en dernier lieu au centre de la face latérale, au niveau de l'équateur du cœur. L'excitation, qui est apparue un peu plus tardivement sur le ventricule gauche que sur le droit, s'y distribue, par contre, plus rapidement; toute la surface épicaudique du ventricule gauche est activée dans l'intervalle de 10 msec.

Chez le chat, l'activation de la surface ventriculaire se fait, d'une façon générale, dans le même ordre que chez le lapin; nos expériences sur le cœur de chat ne sont, toutefois, pas assez nombreuses pour que nous puissions donner des temps statistiquement valables.

Discussion

La *composante focale* ou *déflexion intrinsèque* se reconnaît d'une part à sa *polarité négative*, à sa *grande amplitude* et à sa *brève durée*, d'autre part au *moment de son apparition*, qui diffère suivant le point exploré. Les courants d'action qui constituent cette déflexion prennent naissance dans la portion de myocarde sous-jacente à l'électrode, à l'instant précis où l'excitation y apparaît. Si ce territoire est activé précocement – comme le nœud sinusal pour les oreillettes ou le septum interventriculaire pour les ventricules – la déflexion intrinsèque survient tout au début du complexe auriculaire ou ventriculaire; si, au contraire, l'excitation n'atteint que tardivement le point exploré – comme c'est le cas au niveau des auricules et du cône artériel – la déflexion intrinsèque forme le dernier accident du complexe auriculaire ou ventriculaire. La composante focale constitue ainsi la manifestation électrocardiographique du passage de l'excitation au-dessous de l'électrode exploratrice; elle accompagne toujours l'excitation et se propage avec elle, à la vitesse de moins d'un mètre par seconde dans les fibres myocardiques et de quelques mètres par seconde dans les faux tendons et dans les fibres de Purkinje (*Erlanger* 1912, *Lewis* 1913, *Lewis*, *Meakins* et *White* 1914, *Lewis* et *Rothschild* 1915, *Lapicque* et *Veil* 1927, *Maeno* 1930, *Schaefer* et *Trautwein* 1949, *Draper* et *Weidmann* 1951). On comprend, dans ces conditions, qu'elle apparaisse en deux points voisins à des temps différents.

La comparaison des électrogrammes de points voisins nous montre que *la composante globale se caractérise, en premier lieu, par son apparition simultanée en des territoires aussi éloignés que la pointe et la base d'un ventricule*. Que l'on examine les électrogrammes dérivés de la surface des oreillettes ou ceux recueillis sur un méridien des ventricules, on retrouve toujours un certain nombre d'accidents synchrones d'une courbe à l'autre. Ces coïncidences sont particulièrement nombreuses dans la première partie du complexe ventriculaire qui, précédant le début de la déflexion intrinsèque, est

constituée exclusivement de la composante globale; mais on en trouve aussi dans les autres parties de l'électrogramme et quelques-uns se superposent même à la déflexion intrinsèque (courbe 4 de la fig. 8 b).

Les courants d'action qui constituent la composante globale prennent naissance dans tous les territoires du cœur qui ne sont pas au contact direct de l'électrode exploratrice. De leur point d'origine, ces courants diffusent instantanément dans l'ensemble du cœur, comme dans le milieu ambiant, et atteignent l'électrode différenciée. Cette diffusion de courant est purement physique et identique à celle qui, dans les dérivations standard, conduit les courants d'action du cœur aux électrodes des membres; c'est elle qui est responsable de l'apparition simultanée du même accident électrocardiographique en deux points de l'épicaarde, éloignés l'un de l'autre.

La vectocardiographie nous aide aussi à comprendre cette propriété de la déflexion extrinsèque. Dans tous ces électrogrammes unipolaires directs, la composante globale représente une projection orthogonale du vectocardiogramme sur un axe dont l'orientation dépend de la position de l'électrode exploratrice par rapport à l'électrode indifférente. Dans les électrogrammes d'une série de points voisins, un accident donné de la composante globale - l'onde Q ou sa dépression homologue, par exemple - représente la projection d'un même point du vectocardiogramme; il est donc naturel qu'il survienne au même moment dans toutes les courbes. Par contre, l'orientation de l'axe de projection change pour toute nouvelle position de l'électrode exploratrice et chacune des courbes fournit une projection, sous une incidence différente, de ce même accident du vectocardiogramme. Le sommet de cet accident survient au même moment de la révolution cardiaque dans tous ces électrogrammes, mais son amplitude est chaque fois différente. En examinant l'ensemble des courbes recueillies sur un même méridien, on observe, pour un accident donné de la composante globale, toute une gamme d'amplitudes différentes. On constate, en particulier, que le complexe ventriculaire capté à la pointe du cœur est toujours diphasique et qu'une onde Q apparaît dans l'électrogramme seulement lorsque le point exploré est situé en dehors de la région apicale.

Pour un point donné de l'épicaarde, les accidents de la composante globale ne possèdent pas toujours la même amplitude d'une expérience à l'autre, les conditions de dérivation ne demeurant pas rigoureusement identiques. Ce phénomène est bien connu des électrophysiologistes; ils l'observent chaque fois qu'ils enregistrent l'activité électrique d'un nerf ou d'un muscle plongé dans un milieu conducteur. Le courant d'action n'est alors plus diphasique, mais, dans le cas le plus simple, triphasique. Il débute par accident de sens opposé, représentant le courant d'action d'une partie du nerf ou du muscle qui n'est pas au contact direct des électrodes, mais dont l'activation est plus précoce que celle des points explorés. L'amplitude de cette nouvelle composante dépend des propriétés électriques du milieu ambiant, de sa résistance ohmique avant tout, comme l'ont démontré *Bishop et Gilson* (1929)

et *Bishop* (1937) pour le muscle et *Lorente de Nó* (1947) pour le nerf. Bien que beaucoup plus importante et plus complexe, la composante globale de nos électrogrammes est l'homologue de cette forme triphasique du courant d'action; l'amplitude des divers accidents de cette composante globale dépend aussi de la conductibilité électrique du myocarde et du milieu ambiant.

Sur un point nos résultats ne concordent pas avec ceux de *Lewis*. La déflexion intrinsèque ne débute pas obligatoirement par une brusque inversion de polarité au sommet R du complexe ventriculaire ou au niveau de la ligne isopotentielle, comme l'affirme cet auteur: mais quelquefois, au contraire, son origine se situe après le point de la plus forte positivité, dans la branche descendante RS (courbes 1 et 5 de la figure 9a). Le sommet R appartient alors entièrement à la composante globale: il précède, en effet, le début de la déflexion intrinsèque et survient au même moment dans plusieurs électrogrammes. La négativation de l'électrode différenciée correspondant au segment RS a, dans ces cas, une double origine: d'abord elle n'est due qu'à la composante globale, puis brusquement se surajoute la négativation de la déflexion intrinsèque, qui augmente fortement l'inclinaison de la courbe. Une angulation ou un bref palier sépare ces deux parties du segment RS et situe avec exactitude le point de départ de la composante focale: il ne coïncide jamais d'une courbe à l'autre, contrairement au sommet qui le précède. Ainsi, suivant la topographie et le moment d'activation du point exploré, la déflexion intrinsèque débute dans une période de la révolution cardiaque, pendant laquelle la composante globale augmente la positivité de l'électrode exploratrice ou, au contraire, la diminue et tend à négativer cette électrode. Dans la première éventualité, la déflexion intrinsèque débutera par une brusque inversion de polarité, comme l'a décrit *Lewis*: dans la seconde, la composante focale ne pourra qu'ajouter sa négativité à celle de la composante globale et accentuer le gradient de négativation.

Pour des raisons semblables, la variation négative rapide de la déflexion intrinsèque peut, parfois, s'achever avant le point S du complexe ventriculaire; dans ces rares cas, la dernière partie du segment RS présente subitement une déclivité moins marquée.

Cette variation négative rapide, nettement délimitée par deux accidents de la courbe, est la seule partie de la composante focale que l'on puisse isoler de l'ensemble de l'électrogramme. Nous avons pourtant tout lieu de croire que la composante focale ne se réduit pas à cette variation, mais qu'elle est en réalité constituée par un courant d'action monophasique, dont le post-potentiel négatif, du fait de son décours plus progressif, est dissimulé par la composante globale.

Accessoirement, nous avons pu vérifier la localisation du «pace-maker» et l'ordre d'activation à la surface des oreillettes et des ventricules, en comparant le moment d'apparition de la déflexion intrinsèque en de nombreux points de l'épicarde. L'utilisation du cœur isolé nous a permis d'étudier

toutes les faces du cœur, ce qui n'est pas possible quand cet organe est laissé en place dans le thorax.

La déflexion intrinsèque apparaît le plus précocement dans la portion céphalique du nœud sinusal et de là se propage radiairement aux deux oreillettes, dont l'activation est achevée en 25 à 30 msec.

A la surface des ventricules, l'excitation survient le plus tôt sur la face antérieure, un peu plus précocement à droite qu'à gauche. Elle se distribue, ensuite, aux faces latérales et postérieure, puis en dernier lieu au cône artériel, qui est activé 15 à 20 msec après le premier point de la face antérieure. Cet ordre d'activation (fig. 11) correspond, dans ses grandes lignes, à celui décrit chez le chien par *Lewis* et *Rothschild* (1915), qui employaient aussi la méthode unipolaire, et à celui déterminé par *Harris* (1941) chez le chat, le chien et le singe, en recueillant l'électrogramme différentiel (*Clément* 1912) de deux points très rapprochés (1,5 mm). *Eyster* et *Meek* (1941) obtinrent des résultats identiques en enregistrant, chez le chien, la contraction «fractionnée» (fractionate contraction) de nombreux points de la surface de l'oreillette droite et des deux ventricules. En revanche, pour *Abramson* et *Jochim* (1937), si l'on prend la précaution de conserver le cœur à la température physiologique et d'éviter la dessiccation de l'épicarde, l'activation de la surface des ventricules se ferait, chez le chien, dans un intervalle beaucoup plus bref de 14 msec environ. Ces auteurs n'ont pas réussi à établir un ordre d'activation et ils estiment que les résultats différents des leurs s'expliquent par une température ambiante trop basse et une surface épicaudique inégalement humide. En examinant le travail d'*Abramson* et de *Jochim*, nous remarquons cependant que ces auteurs n'ont exploré qu'une partie de la surface épicaudique, la face antérieure du ventricule droit et la région apicale du ventricule gauche. Ces auteurs, d'autre part, ne reproduisent aucun de leurs enregistrements.

Dans nos propres expériences, nous avons toujours retrouvé, à la surface des ventricules, le même ordre d'activation; nous avons pu, en outre, constater que, pour un point donné, la déflexion intrinsèque occupe toujours la même position (précoce, moyenne ou tardive) dans le complexe ventriculaire et que l'électrogramme de chaque point possède une physionomie caractéristique, que l'on retrouve identique d'une expérience à l'autre:

1. Dans la région apicale, le complexe ventriculaire ne présente jamais d'onde Q.

2. Sur la face antérieure du ventricule droit, au voisinage de l'équateur, la déflexion intrinsèque est toujours précoce, le sommet R de faible amplitude et la plus grande partie du complexe ventriculaire située au-dessous de la ligne de zéro.

3. A la base des ventricules, le complexe ventriculaire est toujours triphasique avec les trois sommets habituels Q, R et S.

4. Sur le cône artériel, enfin, la déflexion intrinsèque survient toujours tardivement et le complexe ventriculaire est, pour sa plus grande part, situé au-dessus de la ligne de base.

Ces faits nous semblent démontrer de façon probante que la déflexion intrinsèque apparaît dans un ordre déterminé à la surface des ventricules et qu'il est possible d'établir un schéma de cette activation. Par contre, il est probable que les temps que nous avons mesurés soient un peu trop longs, puisque la température de l'atmosphère, chaude et humide, qui entourait le cœur en perfusion, était d'environ 30° C.

Résumé

1. L'électrogramme unipolaire direct du cœur est composé d'un phénomène électrique localisé ou *focal* (déflexion intrinsèque de *Lewis*) et d'un phénomène *global* (déflexion extrinsèque de *Lewis*). Ces deux composantes sont étudiées dans les électrogrammes dérivés de nombreux points de la surface du cœur et enregistrés selon une technique perfectionnée.

2. Deux électrogrammes unipolaires sont recueillis sur le cœur isolé de lapin ou de chat, perfusé selon *Langendorff*, et sont enregistrés simultanément sur un oscillographe cathodique à double faisceau.

3. La comparaison des électrogrammes d'une série de points voisins permet de dissocier les composantes focale et globale.

4. La *composante focale* se reconnaît à sa polarité (négativisation de l'électrode différenciée), à sa grande amplitude (2 à 11 mV), à sa brève durée (1 à 4 msec) et au moment de son apparition, différent pour chaque point exploré.

5. La composante focale ne commence pas obligatoirement à un sommet de l'électrogramme, par une brusque inversion de polarité. Elle peut débiter après le sommet de la plus forte positivité, par une inflexion plus rapide du tracé.

6. La *composante globale* se caractérise, en tout premier lieu, par son apparition simultanée en des territoires aussi éloignés que la pointe et la base du cœur.

7. La localisation du «pace-maker» et l'ordre d'activation à la surface des oreillettes et des ventricules sont vérifiés.

Summary

1. The unipolar electrogram derived directly from the surface of the heart is made up of two electrical phenomena, the one localized or *focal* (intrinsic deflection of *Lewis*), the other general or *global* (extrinsic deflection of *Lewis*). These two components were investigated in the electrograms derived from numerous points of the surface of the heart and recorded with an improved technique.

2. Two unipolar electrograms were derived from the isolated and perfused heart of rabbit or cat and recorded simultaneously on the screen of a double beam oscilloscope.

3. Comparison of the electrograms of a series of neighbouring points allowed the focal and the global component to be distinguished.

4. The *focal component* is characterized by the negative polarity of the differentiated electrode, by its large amplitude (2 to 11 mV), its short duration (1 to 4 msec) and by the point of time of its appearance which is different for each focus investigated.

5. The focal component does not necessarily begin at the peak of the electrogram, by the inversion of polarity. It may occur after the peak of positivity, as a more sudden inflection of the down-stroke of the curve.

6. The *global component* is characterized by its simultaneous appearance in areas of the surface that may be as wide apart as the point and the base of the heart.

7. Previous investigations on the localization of the pace-maker, and the succession of activation within the auricles and ventricles have been extended and confirmed.

- Abramson D. I. and Jochim K.*: The spread of the impulse in the mammalian ventricle. *Amer. J. Physiol.* **120**, 635–648 (1937).
- Barker P. S., Macleod A. G. and Alexander J.*: The excitatory process observed in the exposed human heart. *Amer. Heart J.* **5**, 720–742 (1930).
- Bishop G. H.*: La théorie des circuits locaux permet-elle de prévoir la forme du potentiel d'action? *Arch. int. Physiol.* **45**, 273–297 (1937).
- Bishop G. H. and Gilson A. S.*: Action potentials from skeletal muscle. *Amer. J. Physiol.* **89**, 135–151 (1929).
- Borchardt P. R. and Groedel F. M.*: The electrocardiogram obtained directly from the human heart. *Cardiologia* **9**, 329–336 (1945).
- Clement E.*: Über eine neue Methode zur Untersuchung der Fortleitung des Erregungsvorganges im Herzen. *Z. Biol.* **58**, 110–161 (1912).
- Draper M. H. and Weidmann S.*: Cardiac resting and action potentials recorded with an intracellular electrode. *J. Physiol. (Brit.)* **115**, 74–94 (1951).
- Du Bois-Reymond E.*: Untersuchungen über thierische Elektrizität. Verlag G. Reimer, Berlin 1848.
- Duchosal P. W., Veyrat R. et Wyss O. A. M.*: Composantes globale et focale de l'électrogramme recueilli en dérivation unipolaire à la surface du cœur. *Helv. Physiol. Acta* **10**, C 50–C 51 (1952).
- Einthoven W.*: Über die Form des menschlichen Elektrokardiogramms. *Pflügers Arch.* **60**, 101–123 (1895).
- Erlanger J.*: Observations on the physiology of the Purkinje tissue. *Amer. J. Physiol.* **30**, 395–419 (1912).
- Eyster J. A. E. and Meek W. J.*: Experiments on the origin and propagation of the impulse in the heart. *Heart* **5**, 119–134 (1913/14).
- Eyster J. A. E. and Meek W. J.*: The sequence of fractionate contraction at different surface regions of the right auricle and ventricles of the dog's heart. *Amer. J. Physiol.* **134**, 513–516 (1941).
- Fleisch A.*: Eine ausgeglichene sterilisierbare Nährlösung von physiologischer H-Ionenkonzentration. *Arch. exper. Path. u. Pharmakol.* **94**, 22–27 (1922).
- Groedel F. M. and Borchardt P. R.*: Extrasystoles in man produced by direct mechanical irritation of the left and right ventricle. *Exper. Med. and Surg.* **3**, 145–155 (1945).
- Groedel F. M. and Borchardt P. R.*: Intrathoracic electrocardiography in patients with pneumothorax. III: The ventricular electrogram. *Exper. Med. and Surg.* **6**, 91–118 (1948).
- Groedel F. M., Kisch B. and Borchardt P. R.*: The exocardial and endocardial electrograms of the ventricles. An experimental study. *Exper. Med. and Surg.* **5**, 411–425 (1947).
- Harris S. A.*: The spread of excitation in turtle, dog, cat and monkey ventricles. *Amer. J. Physiol.* **134**, 319–332 (1941).

- Keith A. and Flack M.*: The form and nature of the muscular connections between the primary divisions of the vertebrate heart. *J. Anat. and Physiol.* **41**, 172–189 (1907).
- Kisch B., Groedel F. M. and Borchardt P. R.*: Exocardial and endocardial electrograms and direct phonograms in the calf. *Exper. Med. and Surg.* **6**, 125–144 (1948).
- Langendorff O.*: Untersuchungen am überlebenden Säugethierherzen. *Pflügers Arch.* **61**, 291–332 (1895).
- Lapicque M. et Veil C.*: Vitesses de conduction dans l'oreillette et les divisions principales du faisceau de His. *C. r. Soc. Biol. Paris*, **97**, 127–129 (1927).
- Lewis T.*: The pace-maker of the mammalian heart as ascertained by electrocardiographic curves. *J. Physiol. (Brit.)* **41**, IX–X (1910).
- Lewis T.*: Galvanometric curves yielded by cardiac beats generated in various areas of the auricular musculature. The pace-maker of the heart. *Heart* **2**, 23–40 (1910/11).
- Lewis T.*: A method of measuring the rate of transmission of the contraction wave in the dog's auricle. *Heart* **5**, 21–24 (1913/14).
- Lewis T.*: The mechanism and graphic registration of the heart beat. Shaw, London 1925.
- Lewis T., Meakins J. and White P. D.*: The excitatory process in the dog's heart. Part I: The auricles. *Phil. Trans. Roy. Soc. London*, **B 205**, 375–420 (1914).
- Lewis T., Oppenheimer B. S. and Oppenheimer A.*: The site of origin of the mammalian heart beat; the pace-maker in the dog. *Heart* **2**, 147–169 (1910/11).
- Lewis T. and Rothschild M. A.*: The excitatory process in the dog's heart. Part II: The ventricles. *Phil. Trans. Roy. Soc., London*, **B 206**, 181–226 (1915).
- Locke F. S.*: Die Wirkung der Metalle des Blutplasmas und verschiedener Zucker auf das isolierte Säugethierherz. *Cbl. Physiol.* **14**, 670–672 (1900).
- Lorente de Nó R.*: A study of nerve physiology. Part 2. Stud. Rockefeller Inst. Med. Res. **132** (1947).
- Macleod A. G., Wilson F. N. and Barker P. S.*: The form of the electrocardiogram. I: Intrinsicoïd electrocardiographic deflections in animals and man. *Proc. Soc. exper. Biol. and Med.* **27**, 586–587 (1929–30).
- Maeno T.*: Über den Aktionsstrom des Reizleitungssystems des Hundeherzens. II: Über den Aktionsstrom des «falschen Sehnenfadens» in situ. *Fukuoka Acta Med.* **23**, 974–991 (1930). Résumé allemand pp. 48–49.
- Nylin G. und Crafoord C.*: Das vom Menschenherzen in vivo vom linken und rechten Ventrikel abgeleitete Elektrogramm. *Cardiologia* **6**, 136–145 (1942).
- Schaefer H.*: Das Elektrokardiogramm, Theorie und Klinik. Springer, Berlin, Göttingen, Heidelberg 1951, p. 501.
- Schaefer H. und Trautwein W.*: Über die elementaren elektrischen Prozesse im Herzmuskel und ihre Rolle für eine neue Theorie des Elektrokardiogramms. *Pflügers Arch.* **251**, 417–448 (1949).
- Tawara S.*: Die Topographie und Histologie der Brückenfasern. Ein Beitrag zur Lehre von der Bedeutung der Purkinjeschen Fäden. *Cbl. Physiol.* **19**, 70–76 (1905).
- Tawara S.*: Das Reizleitungssystem des Säugetierherzens. G. Fischer Verlag, Jena 1906.
- Tyrodé M. V.*: The mode of action of some purgative salts. *Arch. int. Pharmacodynam.* **20**, 205–223 (1910).
- Wilson F. N.*: The distribution of the potential differences produced by the heart beat within the body and at its surface. *Amer. Heart J.* **5**, 599–616 (1930).
- Wilson F. N., Hill I. G. W. and Johnston F. D.*: The interpretation of the galvanometric curves obtained when one electrode is distant from the heart and the other near or in contact with the ventricular surface. Part I: Observations on the cold-blooded heart. *Amer. Heart J.* **10**, 176–189 (1934).

- Wilson F. N., Johnston F. D. and Hill I. G. W.*: The interpretation of the galvanometric curves obtained when one electrode is distant from the heart and the other near or in contact with the ventricular surface. Part II: Observations on the mammalian heart. *Amer. Heart J.* **10**, 176–189 (1934).
- Wilson F. N., Johnston F. D., Rosenbaum F. F., Erlanger H., Kossmann Ch., Hecht H., Cotrim N., de Oliveira R. M., Scarsi R. and Barker P. S.*: The precordial electrocardiogram. *Amer. Heart J.* **27**, 19–85 (1944).
- Wilson F. N., Macleod G. and Barker P. S.*: The order of ventricular excitation in human bundle branch block. *Amer. Heart J.* **7**, 305–330 (1931–32).
- Wybauw R.*: Sur le point d'origine de la systole cardiaque dans l'oreillette droite. *Arch. int. Physiol.* **10**, 78–89 (1910).
- Wyss O. A. M.*: Eine neue Atmungspumpe für die künstliche Atmung im Tierversuch. *C. r. Physiol. Suisses*, janv. 1940, 8–10.
- Wyss O. A. M.*: Beiträge zur elektrophysiologischen Methodik. II: Ein vereinfachtes Reizgerät für unabhängige Veränderung von Frequenz und Dauer der Impulse. *Helv. Physiol. Acta* **8**, 18–24 (1950).
- Wyss O. A. M.*: Nouveaux appareils électrophysiologiques. *Helv. Physiol. Acta* **8**, C 11–C 12 (1950).
- Wyss O. A. M.*: Beiträge zur elektrophysiologischen Methodik. III: Ein Auslösegerät für Doppelimpulse mit variablem Zeitintervall. *Helv. Physiol. Acta* **10**, 113–119 (1952).

